

В. Ф. ПРОТАСЕВИЧ, канд. техн. наук,
Н. Г. КУХАРЕВА, канд. техн. наук (БНТУ)

БОРОТИТАНИРОВАННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЯХ

Качество и стоимость строительных материалов в значительной мере определяются качеством инструмента и технологической оснастки, использующихся при их изготовлении. При производстве кирпича – это формы для его прессования, пустото- и пазообразователи, керны; в деревообрабатывающей промышленности – режущий инструмент: пилы, ножи, фрезы, сверла и др.; в строительстве – литевая оснастка для изготовления под давлением алюминиевых и ПВХ-профилей и т. д. Условия эксплуатации вышеперечисленного инструмента и оснастки определяют преимущественное развитие поверхностно-инициируемых процессов разрушения, и работоспособность изделий практически определяется физико-химическими и механическими свойствами их поверхности. Поэтому методы поверхностной обработки, заключающиеся в получении износостойких покрытий, все шире используются в мировой практике для улучшения рабочих характеристик инструмента и оснастки.

Настоящая работа посвящена получению на сталях диффузионных покрытий, содержащих диборид титана, который обладает уникальными свойствами: высокой твердостью, износо- и теплоустойкостью, коррозионной стойкостью, стойкостью в расплавах цветных металлов [1, 2].

В настоящий момент имеются исследования по двум способам получения диффузионных боротитанированных слоев – совместно и последовательно. Результаты совместного насыщения бором и титаном рассмотрены в работах [3, 4] Г. В. Самсонова и Г. В. Земского. Указанный способ не позволяет получать на сталях борид титана, а скорость формирования боротитанированного слоя весьма низкая. На техническом железе в поверхностной зоне формируются борид железа, а затем твердый раствор титана в железе с мелкими выделениями титанидов железа [3].

При последовательном способе насыщения очередность нанесения компонентов оказывает существенное влияние на процесс

боротитанирования. Так, образующиеся в процессе предварительного титанирования титаниды железа или карбид титана (углеродистые стали) препятствуют последующей диффузии бора в глубь материала [4].

В работах [3–5] представлены результаты последовательного насыщения бором, а затем титаном. Борирование проводили из порошковых сред на основе карбида бора (B_4C), а титанирование из сред, содержащих порошок титана или ферротитана. Боротитанированные слои на сталях и техническом железе практически не отличаются по строению и фазовому составу. На поверхности формируется хрупкая фаза $FeTi_2$, затем зона толщиной 25 мкм с микротвердостью 31800 МПа, состоящая из диборида титана и титанида железа. Под диборидом титана формируются зона твердого раствора бора и титана в α -Fe, а далее бориды железа.

В настоящей работе приведены результаты исследования микроструктуры, фазового состава и свойств диффузионных боротитанированных слоев на сталях 10кп, 45 и У8, полученных последовательным методом – борирование, а затем титанирование. Обработку проводили по четырем схемам насыщения [6]:

- борирование однофазное с последующим титанированием в среде на основе порошка титана ($B_1 + Ti$);
- борирование однофазное с последующим титанированием в среде на основе порошка оксида титана ($B_1 + TiO_2$);
- борирование двухфазное с последующим титанированием в среде на основе порошка титана ($B_2 + Ti$);
- борирование двухфазное с последующим титанированием в среде на основе порошка оксида титана ($B_2 + TiO_2$).

Диффузионное борирование осуществляли из алюминотермических смесей на основе B_2O_3 при температуре 900 °С продолжительностью 4 ч. В результате борирования на сталях были получены одно- (толщина – 140–70 мкм) или двухфазные (толщина – 125–85 мкм) слои в зависимости от используемых составов порошковых сред.

Последующее титанирование проводили в смесях на основе порошка титана или в алюмотермических смесях, содержащих оксид титана (TiO_2). Насыщение осуществляли при температурах 950, 1000, 1050 и 1100 °С в течение 3, 4 и 5 ч.

Боротитанированные образцы были подвергнуты испытаниям на износо- и коррозионную стойкость. Исследование износостойкости сталей с диффузионными покрытиями проводили в условиях сухого трения скольжения. В качестве контртела использовали твердосплавный диск. Износ оценивали по объему лунки (мм^3), вытертой в процессе трения. Коррозионную стойкость в 10%-м водном растворе серной кислоты определяли по потере массы образцов, отнесенной к площади их поверхности (г/м^2).

На малоуглеродистой стали 10кп были получены диффузионные слои толщиной 130–230 мкм в зависимости от выбранных режимов боротитанирования. Рентгеноструктурным анализом в слое установлено образование фаз: Fe_2Ti , TiB_2 и Fe_2B . На поверхности формируется тонкая (не более 7 мкм) зона титанида железа – Fe_2Ti , далее – зона Fe_2B игольчатого строения с включениями боридов титана. Микротвердость зоны Fe_2B изменяется от 14000–16000 МПа у основания иглы до 7000–8500 МПа у острия иглы на границе с основой.

На стали 45 после боротитанирования формируется слой, состоящий из нескольких зон, отличающихся травимостью, фазовым составом и строением (рис. 1). По данным рентгеноструктурного анализа, с поверхности формируется тонкий сплошной слой боридов титана с микротвердостью 33000 МПа, а далее – зона, состоящая из TiB_2 и FeB . Толщина этой зоны составляет 60–80 мкм. В микроструктуре слоя в поперечном сечении видны включения TiB_2 в матрице FeB (рис. 1, б). Измерения микротвердости обеих фаз проводили при последовательной сошлифовке боротитанированного слоя (рис. 2). Твердость боридов титана – 24000–26000 МПа. Борид железа имеет микротвердость 17000–16000 МПа. Микротвердость боридных игл на границе с основой составляет 11000 МПа. Общая толщина боротитанированного слоя на стали 45 составляет 100–200 мкм в зависимости от режимов обработки.

Испытания на износостойкость обнаружили преимущество боротитанированных слоев перед борированными. Так, сталь У8 после обработки по схемам: $(\text{B}_1 + \text{TiO}_2)$, $(\text{B}_2 + \text{TiO}_2)$ обладает износостойкостью в два раза большей, чем после одно- и двухфазного борирования [6]. Это объясняется образованием в диффузионных слоях диборидов титана и повышением микротвердости.

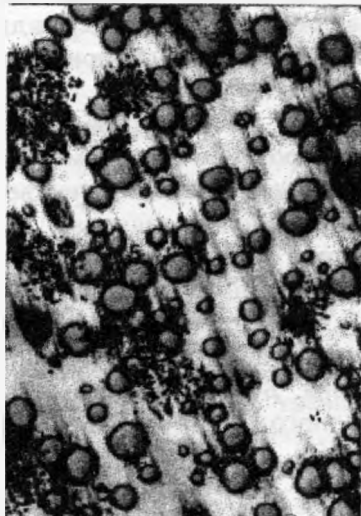
a*б*

Рис. 1. Микроструктура боротитанированного слоя на стали 45, $\times 200$:
a – продольное сечение; *б* – поперечное сечение



Рис. 2. Распределение микротвердости по толщине
 диффузионного слоя

Анализ результатов серии экспериментов, проведенных традиционными методами пассивного эксперимента, позволил выбрать составы порошковых сред для проведения боротитанирования с целью получения диборида титана и слоя с высокой микротвердостью.

На последующем этапе работы выполнено математическое планирование эксперимента при использовании полного факторного эксперимента. В качестве параметров оптимизации были выбраны следующие величины: U_1 – износ (мм^3) стали 45; U_2 – удельная потеря массы (г/м^2) при коррозионных испытаниях стали 10кп; U_3 – удельная потеря массы (г/м^2) при коррозионных испытаниях стали 45. В эксперименте варьировали три фактора: X_1 – температуру борирования; X_2 – температуру титанирования; X_3 – время титанирования. Боротитанирование проводили в соответствии с матрицей полного факторного эксперимента 2^3 , которая представлена в табл. 1.

Таблица 1. Матрица полного факторного эксперимента 2^3

Характеристика	Фактор			Параметр		
	$t(\text{B}), ^\circ\text{C}$	$t(\text{Ti}), ^\circ\text{C}$	$\tau(\text{Ti}), \text{ч}$	Износ, мм^3	Удельная потеря массы, г/м^2	
					сталь 10кп	сталь 45
Код	X_1	X_2	X_3	U_1	U_2	U_3
Основной уровень	900	1000	4			
Интервал варьирования	50	50	1			
Верхний уровень	950	1050	5			
Нижний уровень	850	950	3			
Опыты:						
1	+	+	+	0,30	110	82
2	–	+	+	0,20	106	72
3	+	–	+	0,18	94	50
4	–	–	+	0,21	39	52
5	+	+	–	0,35	130	95
6	–	+	–	0,28	85	80
7	+	–	–	0,25	83	28
8	–	–	–	0,33	37	60
9–11	0	0	0	0,22	110	95

По результатам испытаний на износо- и коррозионную стойкость построены математические модели, адекватно описывающие влияние исследованных факторов на износо- и коррозионную стойкость в водном растворе серной кислоты:

$$Y_1 = 0,3 + 0,01X_1 + 0,02X_2 - 0,04X_3; \quad (1)$$

$$Y_2 = 85 + 19X_1 + 22X_2 - 17X_3; \quad (2)$$

$$Y_3 = 65 - X_1 + 17X_2 - X_3. \quad (3)$$

Полученные уравнения позволяют оценить влияние технологических параметров (температура и время процесса) на износо- и коррозионную стойкость боротитанированных сталей. Из уравнения (1) следует, что на износостойкость стали 45 наиболее сильное влияние оказывает время титанирования. Температура борирования оказывает более слабое влияние (в четыре раза слабее, чем время титанирования) на износостойкость. Увеличение времени титанирования оказывает положительное влияние на износостойкость, а рост температур титанирования и борирования приводит к снижению износостойкости.

В (2), описывающем зависимость коррозионной стойкости стали 10кп с покрытием от технологических параметров процесса, коэффициенты уравнения имеют практически одинаковые значения по абсолютной величине. Время титанирования имеет положительное влияние на коррозионную стойкость, а температуры титанирования и борирования – отрицательное.

Вывод

Проведенные исследования показали, что боротитанирование, осуществляемое последовательным способом (борирование, а затем титанирование), приводит к образованию диффузионных слоев с высокой твердостью и износостойкостью. В качестве предварительного процесса может использоваться как одно-, так и двухфазное борирование из порошковых алюмотермических сред. Последующее титанирование в алюмотермических смесях на основе оксида титана борированных образцов позволяет получать на углеро-

дистых сталях диффузионную зону, состоящую из диборида титана и борида железа, обладающую повышенной микротвердостью. На углеродистых сталях получены боротитанированные покрытия, которые обладают в два раза большей износостойкостью, чем одно- и двухфазные боридные слои.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самсонов, Г. В. Тугоплавкие соединения / Г. В. Самсонов, И. М. Винницкий. – М.: Металлургия, 1976. – 555 с.
2. Самсонов, Г. В. Тугоплавкие покрытия / Г. В. Самсонов, А. П. Эпик. – М.: Металлургия, 1973. – 399 с.
3. Диффузионное насыщение бором и титаном / Г. В. Земсков [и др.] // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1966. – №7. – С. 138-142.
4. Самсонов, Г. В. Диффузионное насыщение углеродистых сталей титаном и бором / Г. В. Самсонов, В. П. Глухов // Защитные покрытия на металлах. – Киев: Наук. думка, 1970. – Вып. 3. – С. 101-108.
5. Боротитанирование железа / Г. В. Земсков [и др.] // Защитные покрытия на металлах. – Киев: Наук. думка, 1972. – Вып. 6. – С. 117-119.
6. Протасевич, В. Ф. Боротитанирование сталей в порошковых средах / В. Ф. Протасевич, Л. В. Кучеева, И. К. Шевчик // Металлургия. – Минск: Вышэйш. шк., 1987. – Вып. 21. – С. 105-107.

УДК 621.785.5

М. В. СИТКЕВИЧ, д-р техн. наук, Е. М. СТАРОВОЙТОВА,
Н. Н. КУЗМЕНКО (БНТУ)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОРИРОВАНИЯ И БОРОСИЛИЦИРОВАНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРАХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СВОЙСТВ СТАЛЕЙ

Практическую значимость представляют процессы комплексного диффузионного насыщения с использованием специальных смесей и обмазок, обеспечивающих химико-термическую обработку и защиту от окисления рабочих поверхностей крупногабаритных изделий в процессе высокотемпературных выдержек в нагревательном оборудовании, применяемом для общепринятой термической обработки [1]. Особый интерес представляют исследования про-